

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΜΣ στην Επιστήμη και την Τεχνολογία Υπολογιστών

“A Survey on Ontologies for Human Behavior Recognition”

Μάθημα: Θέματα Δικτυοκεντρικού Προγραμματισμού
Διδάσκων: Καθηγητής κ. Κ.Βασιλάκης

Μεταπτ. Φοιτήτρια: **Βικτωρία Σαρακινιώτη**

Τρίπολη, Φεβρουάριος 2016

Contents

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 ΠΕΡΙΠΡΕΟΥΣΑ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ (AMBIENT INTELLIGENCE)	4
1.2 ΕΠΙΓΝΩΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (CONTEXT AWARENESS)	8
2. ΟΝΤΟΛΟΓΙΕΣ	10
2.1 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ.....	11
2.2 ΕΙΔΗ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ	13
2.3 ΓΛΩΣΣΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ.....	13
2.3.1 Η γλώσσα OWL	14
3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	15
3.1 DATA-DRIVEN ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	16
3.2 KNOWLEDGE-BASED ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	18
3.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ	19
4. ΟΝΤΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	21
4.1 CoBRA-ONT	22
4.2 THE CoDAMOS ONTOLOGY	22
4.3 THE DELIVERY CONTEXT ONTOLOGY	22
4.4 THE SOUPA ONTOLOGY	23
4.5 THE MIO! ONTOLOGY	23
4.6 THE HUMAN ACTIVITY RECOGNITION ONTOLOGY	23
4.7 THE CONON ONTOLOGY	24
4.8 THE PERVASIVE INFORMATION VISUALIZATION ONTOLOGY (PIVON)	24
4.9 THE SITUATION ONTOLOGY	24
4.10 ΟΝΤΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (CONTEXT) ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (ENVIRONMENT)	24
5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ-ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ	25
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	30
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	31

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, με την αύξηση του όγκου των δεδομένων και επομένως της πληροφορίας που διακινείται μεταξύ ανθρώπων και των υπολογιστικών συστημάτων, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα και εργαλεία για την καλύτερη αναπαράσταση της γνώσης που εμπεριέχεται στα πληροφορίες αυτές για να μπορούν τόσο οι άνθρωποι όσο και τα υπολογιστικά μηχανήματα να την κατανοούν. Ειδικότερα, στη σημερινή εποχή, με την απότομη ανάπτυξη του Παγκόσμιου Ιστού, τέθηκαν σοβαρά ζητήματα σχετικά με την αναζήτηση, το διαχωρισμό και την επεξεργασία των πληροφοριών για τους χρήστες. Η επεξεργασία και η ερμηνεία των επιστρεφόμενων πληροφοριών θα έπρεπε να γίνεται από τον άνθρωπο χρήστη. Αυτό όμως, είχε ως αποτέλεσμα, υψηλότερο κόστος, χρόνο, κόπο, δυσχρηστία και μεγάλο όγκο πληροφοριών για επεξεργασία.

Ο σημασιολογικός ιστός (Semantic Web) αποτέλεσε μια επέκταση του σημερινού παγκόσμιου ιστού (web), όπου η πληροφορία είναι καλά και σαφώς ορισμένη, ώστε να γίνεται πιο εύκολη και αποτελεσματική η συνεργασία ανθρώπων και υπολογιστών. [Tim Berners-Lee, 2001].” The representation of data on the World Wide Web”, ορίζει το World Wide Web Consortium (W3C), χωρίς να περιορίζεται ο τύπος ή η χρήση των δεδομένων.

Καθώς λοιπόν, ο Σημασιολογικός Ιστός αναπτύσσεται, εμφανίζονται κάποια πρότυπα και σημασιολογικά εργαλεία για την αναγνώριση και την αναπαράσταση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Η επιστήμη που αναπτύχθηκε και μας παρέχει αυτά τα σημασιολογικά εργαλεία, είναι γνωστή με τον όρο Μηχανική των Οντολογιών. Οι Οντολογίες αποτελούν μια τυπική (formal), κατηγορηματική (explicit) προδιαγραφή μιας διαμοιρασμένης (shared) εννοιολογικής αναπαράστασης (conceptualization) (Thomas R. Gruber, 1993). Βασικό τους χαρακτηριστικό, είναι ότι διευκολύνουν την επικοινωνία ανθρώπων και υπολογιστικών συστημάτων, διότι αποτελούν μέσο κοινής πρόσβασης στην πληροφορία και ενισχύουν την κοινή κατανόηση εννοιών και όρων. Περιγράφουν και αναπαριστούν ένα γνωστικό πεδίο (κοινό λεξιλόγιο σε κάποιο πεδίο γνώσης), συμβάλλοντας στη διαλειτουργικότητα των συστημάτων, την επαναχρησιμοποίηση και το διαμοιρασμό της γνώσης και την αναπαράσταση της επίγνωσης πλαισίου (context awareness) και της ανθρώπινης συμπεριφοράς (human behavior recognition) σε περιβάλλον Περιρρέουσας Νοημοσύνης (Ambient Intelligence Environment-AmI).

1.1 Περιρρέουσα Νοημοσύνη (Ambient Intelligence)

Ο όρος Περιρρέουσα Νοημοσύνη (AmI), χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission) το 2001 [Ducatel et. AI 2001], ως αποτέλεσμα των νέων αναγκών των χρηστών σε περιβάλλον διάχυτης υπολογιστικής (ubiquitous environments) που οραματίστηκε ο M. Weiser (2002) και αναφέρεται σε ένα περιβάλλον ψηφιακό (digital) και ικανό να αντιλαμβάνεται τις αλλαγές που επιτελούνται σε αυτό (proactive) ,να προσαρμόζεται στις αλλαγές αυτές και να βοηθά τους χρήστες στην αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον στην καθημερινή τους ζωή. [Augusto 2007] Το περιβάλλον αυτό αποτελείται από συσκευές, αντικείμενα, με ενσωματωμένη υπολογιστική ικανότητα και «νοημοσύνη» με τις οποίες οι χρήστες αλληλεπιδρούν.

Τα συστήματα AmI, αποτελούνται κυρίως από:

- έναν μηχανισμό αντίληψης (perception mechanism) για να συλλέγουν πληροφορίες για τον χρήστη και το περιβάλλον [Remagnino et al.2005], [Cook et.al. 2009]
- Ένα σύνολο από actuators, για να τροποποιούν το περιβάλλον και να επικοινωνούν με τους χρήστες και
- έναν μηχανισμό συλλογισμού/λήψης απόφασης (reasoning/ decision-making module), ικανό να αντιληφθεί τι συμβαίνει στους χρήστες όταν είναι στο περιβάλλον, τι κάνουν, τι πρόκειται να κάνουν και να λαμβάνουν αποφάσεις για να τους βοηθήσουν.

Σε αυτά τα συστήματα, ο χρήστης (user) βρίσκεται στο επίκεντρο της σχεδίασης μοντέλων αναπαράστασης της συμπεριφοράς του.

Γι'αυτό είναι απαραίτητο να αναπτύσσονται τεχνικές για μοντελοποίηση, αναγνώριση και πρόβλεψη ενέργειας χρηστών σε ένα AmI περιβάλλον, έτσι ώστε το σύστημα να λαμβάνει αποφάσεις για εκείνους και να τους βοηθήσει.

Ανθρώπινη δραστηριότητα/ενέργεια & ανθρώπινη συμπεριφορά (human action & human behavior):

- Human Activity (πληροφορίες συλλέγονται από αισθητήρες και τεχνικές βασισμένες στη γνώση, δραστηριότητα)

- Human Behavior (ο σκοπός ή η σημασία μιας ενέργειας του χρήστη)

Στην παρούσα μελέτη οι έννοιες της ανθρώπινης δραστηριότητας και συμπεριφοράς θεωρούνται ταυτόσημες, για αποφυγή σύγχυσης με την υπάρχουσα βιβλιογραφία.

Σημαντικός παράγοντας για της σχεδίαση AmI εφαρμογών είναι και η επιλογή του κατάλληλου **task model (μοντέλου δεδομένων/συμπεριφοράς)** για την ανάλυση της ανθρώπινης δραστηριότητας (human activity).

- **User task modeling:**

Η κατασκευή μοντέλων αναπαράστασης της ανθρώπινης συμπεριφοράς στα πλαίσια συγκεκριμένου υπολογιστικού περιβάλλοντος που να μπορούν να προβλέψουν τη δραστηριότητα του χρήστη. Η υπολογιστική αναπαράσταση της πληροφορίας από το χρήστη αποκαλείται μοντέλο χρήστη (user model).

Διαδικασία μοντελοποίησης [Casas et.al.2008]:

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος αλληλεπίδρασης (interactive system), εκτελούνται κάποιες φάσεις που περιλαμβάνουν τη φάση της ανάλυσης του task, όπου καθορίζονται τα ουσιώδη στοιχεία μιας εργασίας και εξετάζονται οι απαιτούμενες γνώσεις και δεξιότητες που απαιτούνται. Μόλις ολοκληρωθεί η φάση αυτή, αναγνωρίζονται σχετικά tasks και ξεκινά η διαδικασία μοντελοποίησης του task. Ο σκοπός του task modeling είναι να μοντελοποιηθούν με ακρίβεια οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων tasks, που έχουν αναγνωριστεί κατά το προηγούμενο στάδιο. Ένα task model μπορεί να περιγράψει τις δραστηριότητες που έχουν προβλεφθεί να συμβούν με σκοπό να επιτευχθούν οι στόχοι του χρήστη. Η βασική αρχή είναι το επίπεδο αφαίρεσης/αποσύνθεσης (level of decomposition),κάθε task μέχρι το σημείο που δεν θα αναλύεται σε περισσότερα. Το επίπεδο αυτό εξαρτάται από το σκοπό για τον οποίο έχει δημιουργηθεί ένα task model. Τα task model πρέπει να είναι πλούσια σε πληροφορία και ευέλικτα ώστε να μπορούν να «συλλαμβάνουν» όλες τις κύριες δραστηριότητες που θα πρέπει να πετύχουν τους επιθυμητούς στόχους και τους διαφορετικούς τρόπους για να τους επιτύχουν [W3C 2010].

Κάποια από τα γνωστά task model είναι τα εξής:

- HTA (Hierarchical Task Analysis)

- GTA (Group-ware Task Analysis)
- CTT (Concur Task Trees)
- UAN (User Action Notation)
- TKS (Task Knowledge Structure)
- DIANE+
- TOOD (Task Object-Oriented Description)

Βασικά χαρακτηριστικά των tasks σε AmI περιβάλλον:

Task βάσει συσκευής (Device-dependent tasks):

Σε συστήματα περιρρέουσας νοημοσύνης, μπορεί να χρειαστεί η χρήση συσκευών για τη μοντελοποίηση των task χρηστών. Για αυτό το λόγο, θα πρέπει οι συσκευές να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τις υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρουν στους χρήστες. Για παράδειγμα η οθόνη ενός υπολογιστή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως οθόνη προβολής αν η τηλεόραση είναι εκτός λειτουργίας ή χρησιμοποιείται από άλλο πρόσωπο. Έτσι για κάθε συσκευή έχουμε μια λίστα με πιθανά task που σχετίζονται μεταξύ τους.

Task βάσει τοποθεσίας (Place-dependent tasks):

Μερικά task μπορεί να χρειάζονται μερικούς πόρους, οι οποίοι να μην είναι κινητοί αλλά να βρίσκονται κάπου στο φυσικό χώρο. Επομένως, η εκτέλεση τέτοιων task, θα είναι εφικτή μόνο σε συγκεκριμένο εύρος φυσικού χώρου. Για παράδειγμα, τα task που αφορούν το χώρο κουζίνας: το πλύσιμο των πιάτων, το μαγείρεμα κλπ, εκτελούνται στο χώρο της κουζίνας.

Επίσης, τα task σε περιβάλλον AmI μοιράζονται και κάποια κοινά χαρακτηριστικά με τα κλασικά task:

Χρονικές σχέσεις (Temporal Relationships):

Δύο ή περισσότερα task σε AmI περιβάλλον, μπορούν να συσχετίζονται με διάφορους τρόπους. Τα παράλληλα task θα πρέπει να εκτελούνται ταυτόχρονα. Τα διαδοχικά, εκτελούνται με μια σειρά: η αρχή ενός σχετίζεται με τη λήξη τους αμέσως προηγούμενου. Μερικές φορές, μπορούμε να βρεθούμε σε μια κατάσταση εκτελώντας ένας task ή ένα άλλο ισοδύναμό του. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να

χρειαστεί να μοντελοποιήσουμε ένα δεύτερο task που να αναστείλει την εκτέλεση του πρώτου και το οποίο θα εκτελεστεί μετά αφού το δεύτερο ολοκληρωθεί.

Συμπεριφορά επιρρεπής σε λάθη (Error-prone behavior):

Αφού μοντελοποιείται η ανθρώπινη συμπεριφορά σε αλληλεπίδραση με διάφορα «έξυπνα» ενσωματωμένα συστήματα, είναι πολύ πιθανό να συμβούν λάθη κατά τη διαδικασία (λάθη συστήματος ή από κακό χειρισμό). Τα λάθη αυτά θα πρέπει να αγνοηθούν κατά τη φάση της μοντελοποίησης και να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις.

Καθώς νέες προσεγγίσεις για το task modeling χρησιμοποιούν τη Σημασιολογία για να αναπαραστήσουν την ανθρώπινη δραστηριότητα, τεχνικές επίγνωσης πλαισίου (context awareness techniques) αποτελούν βασικό στοιχείο των AmI συστημάτων.

1.2 Επίγνωση Πλαισίου (Context Awareness)

Με τον όρο πλαίσιο (context), εννοούμε τις πληροφορίες περιβάλλοντος και επομένως οποιαδήποτε πληροφορία μπορεί να χαρακτηρίσει την κατάσταση μιας οντότητας (entity) [Dey and Abowd 2000]. Μια οντότητα (Entity) μπορεί να είναι ένα άτομο, ένα αντικείμενο, μια τοποθεσία, μια εφαρμογή ή μια συσκευή που αλληλεπιδρά με τον χρήστη.

Η επίγνωση πλαισίου (context awareness) αποτελεί κύριο στοιχείο της διάχυτης υπολογιστικής (ubiquitous paradigm). Ένα πολύ καλά σχεδιασμένο μοντέλο, είναι το κλειδί για την γνώση πλαισίου σε οποιοδήποτε τέτοιο σύστημα [Strang and Linnhoff-Popien 2004].

Έτσι λοιπόν, τα σύγχρονα συστήματα μπορούν να ενσωματώσουν τη λεγόμενη γνώση πλαισίου ή περιβάλλοντος μαζί με τη σημασιολογική αναπαράσταση της γνώσης που μας προσφέρει αποδοτικές τεχνικές για την περιγραφή των πληροφοριών του περιβάλλοντος και των συσχετίσεων μεταξύ τους με τρόπο καλά μοντελοποιημένο. Οι Οντολογίες μπορούν να αναπαραστήσουν τη στατική γνώση ενός τομέα, μαζί με τα παραδοσιακά σχεσιακά πρότυπα μοντελοποίησης των πληροφοριών περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία συστημάτων κλιμακώσιμων (scalable).

Το μοντέλο αναπαράστασης των πληροφοριών περιβάλλοντος, θα πρέπει να είναι απλό και ευέλικτο, για να μπορεί να εφαρμόζεται σε ποικίλες εφαρμογές χωρίς μεγάλο κόστος.

Ο σχεδιαστής ενός τέτοιου συστήματος, για την περιγραφή της πληροφορίας περιβάλλοντος που να είναι εκφραστική, κατανοητή και επεξεργάσιμη από μηχανές, έχει σημαντικό έργο να επιτελέσει. Για αυτό έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές προσεγγίσεις για την μοντελοποίηση του context [Strang and Linnhoff_Popien 2004].:

- Κλειδί-τιμή (Key-value): Τα δεδομένα περιγράφονται ως ζεύγη από τιμή-κλειδί. Είναι ο πιο απλός τρόπος μοντελοποίησης της πληροφορίας περιβάλλοντος.
- Γλώσσες σήμανσης (Markup scheme models): Χρησιμοποιούν μια ιεραρχική δομή δεδομένων με ετικέτες (tags) με παραμέτρους και περιεχόμενο.

- Γραφικά εργαλεία (Graphical) [Strang and Linnhoff-Popien 2004]: Η μοντελοποίηση της πληροφορίας περιβάλλοντος με χρήση γραφικών μοντέλων υπερέχει ως προς τον ορισμό της δομής των πληροφοριών και των μεταξύ τους σχέσεων, αλλά συνήθως χρησιμοποιείται για συγκεκριμένες εφαρμογές και είναι δύσκολο να γενικευτεί. Παραδείγματα αποτελούν η UML (Unified Modeling Language) ή επεκτάσεις του ORM (Object-Role Modeling).
- Αντικειμενοστραφές (object-oriented): Οι προσεγγίσεις αυτές εκμεταλλεύονται το πλεονέκτημα της ενθυλάκωσης και της επαναχρησιμοποίησης που χρησιμοποιούν τα αντικειμενοστραφή μοντέλα. Οι λεπτομέρειες της επεξεργασίας της πληροφορίας ενθυλακώνονται στα αντικείμενα και δεν είναι φανερές στις υπόλοιπες συνιστώσες του συστήματος. Η πρόσβαση στα αντικείμενα γίνεται χρησιμοποιώντας τις προσδιορισμένες διεπαφές.
- Βασισμένο στη λογική (Logic-based): Τα συστήματα που είναι βασισμένα στη λογική ορίζουν γεγονότα ή εκφράσεις τα οποία προέρχονται από άλλα γεγονότα ή εκφράσεις.
- Οντολογίες (Ontology-based models): Οι Οντολογίες αποτελούν έναν αποδοτικό τρόπο μοντελοποίησης της πληροφορίας περιβάλλοντος. Στις Οντολογίες ορίζεται ένα λεξιλόγιο πληροφορίας αποτελούμενο από έννοιες (concepts) και συσχετίσεις (relationships) ώστε να είναι η πληροφορία κατανοητή και από τις μηχανές, όχι μόνο από τους ανθρώπους. Η χρήση Οντολογιών ξεπερνά τους περιορισμούς που τίθενται από άλλα μοντέλα, σχετικά με τη απλότητα, την ευελιξία, την επεκτασιμότητα, τη γενικότητα, την εκφραστικότητα, και την αυτοματοποίηση. Θέματα διαλειτουργικότητας βρίσκουν λύσεις και επωφελούνται από τη συλλογιστική των Οντολογιών, καθώς αποτελούν τα πλέον υποσχόμενα εργαλεία για τη μοντελοποίηση των πληροφοριών περιβάλλοντος.

2. Οντολογίες

Οι Οντολογίες αποτελούν μια τυπική (formal), κατηγορηματική (explicit) προδιαγραφή μιας διαμοιρασμένης (shared) εννοιολογικής αναπαράστασης (conceptualization) (Thomas R. Gruber, 1993). Βασικό τους χαρακτηριστικό, είναι ότι διευκολύνουν την επικοινωνία ανθρώπων και υπολογιστικών συστημάτων, διότι αποτελούν μέσο κοινής πρόσβασης στην πληροφορία και ενισχύουν την κοινή κατανόηση εννοιών και όρων.

Περιγράφουν και αναπαριστούν ένα γνωστικό πεδίο (κοινό λεξιλόγιο σε κάποιο πεδίο γνώσης), συμβάλλοντας στη διαλειτουργικότητα των συστημάτων, την επαναχρησιμοποίηση και το διαμοιρασμό της γνώσης και την αναπαράσταση της επίγνωσης πλαισίου/των πληροφοριών περιβάλλοντος (context awareness) και της ανθρώπινης συμπεριφοράς (human behavior recognition) σε περιβάλλον Περιρρέουσας Νοημοσύνης (Ambient Intelligence Environment-AmI).

Βασικό στοιχείο στο οποίο εστιάζουν οι οντολογίες, είναι οι κλάσεις (**classes**), καθώς οι οντολογίες αποτελούν έναν τυπικό και σαφή προσδιορισμό εννοιών σε έναν γνωστικό τομέα. Οι ιδιότητες της κάθε έννοιας που περιγράφουν τα διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και ιδιότητες της έννοιας ονομάζονται **ιδιότητες (slots) ρόλοι** και οι περιορισμοί στις ιδιότητες **απόψεις (facets) ή περιορισμοί ρόλου**. Μια οντολογία μαζί με ένα σύνολο μεμονωμένων οντοτήτων (**instances**), αποτελεί μια βάση γνώσεων.

2.1 Δομικά στοιχεία Οντολογιών

Οι οντολογίες αποτελούνται από τα παρακάτω δομικά στοιχεία (Fredrik-Arvidsson et al,2008):

Κλάσεις (Classes): Οι κλάσεις αναπαριστούν τις έννοιες (concepts). Μια έννοια μπορεί να είναι μια λειτουργία ή μια διαδικασία. Μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, τις πρωταρχικές έννοιες (primitive concepts) οι οποίες έχουν μόνο απαραίτητες συνθήκες (ως προς τις ιδιότητές τους) για να είναι μέλος μιας κλάσης και τις οριζόμενες έννοιες (defined concepts) των οποίων η περιγραφή είναι ικανή και αναγκαία συνθήκη για να είναι ένα αντικείμενο μέλος της κλάσης.

Οι οντολογίες που χρησιμοποιούν οριζόμενες έννοιες περιέχουν κλάσεις τελείως διαφορετικές μεταξύ τους, ενώ οι οντολογίες που χρησιμοποιούν πρωταρχικές έννοιες περιέχουν κλάσεις όπου μια κλάση είναι υποκλάση μιας άλλης. Οι κλάσεις μπορούν να αντικαταστήσουν ή να αντικατασταθούν από άλλες κλάσεις.

Στιγμιότυπα (instances): Είναι οι στοιχειώδεις οντότητες που βρίσκονται στο χαμηλότερο επίπεδο, δηλαδή αναπαριστούν συγκεκριμένα στοιχεία.

Σχέσεις (relations): Οι σχέσεις εκφράζουν ένα είδος αλληλεπίδρασης μεταξύ των εννοιών ενός πεδίου ενδιαφέροντος.

Ιδιότητες (slots, roles, attributes, properties): Περιγράφουν διάφορα χαρακτηριστικά και ιδιότητες των εννοιών.

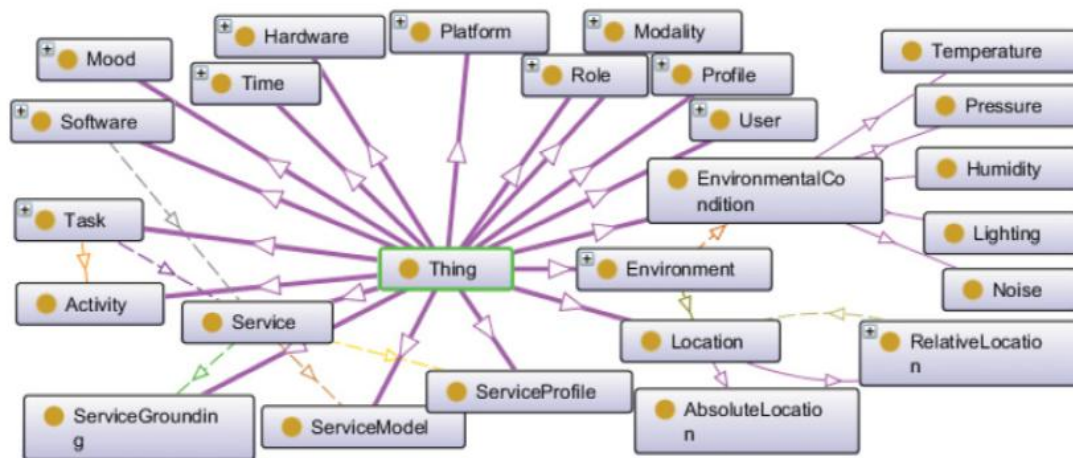
Περιορισμοί των slots (role restriction, facets): Ιδιότητες που περιγράφουν τους περιορισμούς που υπακούουν οι κλάσεις και οι οντότητές τους.

Συναρτήσεις (functions): Οι συναρτήσεις αντιπροσωπεύουν μια ειδική περίπτωση σχέσης.

Αξιώματα (axioms): Τα αξιώματα περιγράφουν προτάσεις που είναι πάντοτε αληθείς.

Για την κατασκευή μιας οντολογίας θα πρέπει να εφαρμόσουμε μια από τις υπάρχουσες μεθοδολογίες κατασκευής, ένα εργαλείο κατασκευής οντολογιών και μια γλώσσα αναπαράστασης.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μια γνωστής οντολογίας της CoDAMos (Context-Driven Adaptation of Mobile Services) [Preuveneers et.al.2004]



Ontology concepts within the CoDAMos ontology [Preuveneers et al. 2004].

2.2 Είδη Οντολογιών

Υπάρχουν διάφορες πιθανές προσεγγίσεις για την ανάπτυξη και την ταξινόμηση των οντολογιών (Uschold and Gruninger 1996):

Η **top-down** προσέγγιση, όπου η διαδικασία ξεκινά με τον ορισμό των πιο γενικών εννοιών του τομέα που περιγράφουν και ακολούθως με την εξειδίκευση των εννοιών.

Η **bottom-up** προσέγγιση, που ξεκινά με τον ορισμό συγκεκριμένων κλάσεων, των φύλλων της ιεραρχίας και ακολούθως με ομαδοποίηση των κλάσεων αυτών σε κλάσεις που περιγράφουν πιο γενικές έννοιες.

Τέλος, ο **συνδυασμός (combination)**, όπου είναι μια προσέγγιση που συνδυάζει τις δύο παραπάνω –top-down και bottom-up- με καθορισμό πρώτα των πιο εξέχοντων χαρακτηριστικών και έπειτα γενίκευση και εξειδίκευση αυτών ανάλογα με τις απαιτήσεις.

2.3 Γλώσσα ανάπτυξης Οντολογιών

Οι οντολογίες εκφράζονται συνήθως σε μια γλώσσα βασισμένη στη λογική (logic-based language), για να μπορούν να γίνουν λεπτομερείς, ακριβείς συνεπείς, ορθές και εκφραστικές διακρίσεις μεταξύ των κλάσεων, των ιδιοτήτων και των σχέσεων. Κάποια εργαλεία οντολογιών μπορούν αυτόματα να εκτελέσουν συλλογισμό (reasoning) χρησιμοποιώντας τις οντολογίες και να παρέχουν εξελιγμένες υπηρεσίες σε εφαρμογές όπως οι μηχανές εννοιολογικής-σημασιολογικής αναζήτησης και ανάκτησης, πράκτορες (software agents), μηχανές υποστήριξης αποφάσεων (decision support), μηχανές ομιλίας και κατανόησης φυσικής γλώσσας, μηχανές διαχείρισης γνώσης, ευφυείς βάσεις δεδομένων και μηχανές ηλεκτρονικού εμπορίου.

Γενικά οι γλώσσες αναπαράστασης Οντολογιών, διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

Παραδοσιακές γλώσσες

- Κατηγορηματικής λογικής πρώτης τάξης (πχ. Prolog)
- Λογική πλαισίων (Frame-based logic)
- Περιγραφική λογική (Description logic)
- Παραδείγματα (Carin, Flogic, Loom, OCML, Ontolingua)

Web-based γλώσσες

- Η σύνταξή τους βασίζεται στην XML

Γλώσσες που αναπτύχθηκαν για αναπαράσταση συγκεκριμένων οντολογιών και για να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένες εφαρμογές

- Παραδείγματα: CycL, GRAIL, NKRL

Οι πιο συνήθεις γλώσσες αναπαράστασης οντολογιών είναι οι Web-based γλώσσες και αναφέρουμε μερικές από αυτές όπως, Simple HTML ontology extensions (SHOE), Ontology Exchange language (XOL), Ontology markup language (OML, KML), Resource Description Framework schema language (RDFS), DARPA agent markup language (DAML), Ontology interchange language (OIL), Ontology Web Language (OWL).

Η διαφοροποίηση και ο διαχωρισμός των γλωσσών αναπαράστασης οντολογιών βασίζεται κυρίως α) στη σύνταξη, β) στην ορολογία, γ) στην εκφραστικότητα και δ) στη σημασιολογία.

Τέλος, μια γλώσσα αναπαράστασης οντολογιών, καθορίζεται και από τους σχεδιαστικούς στόχους της εφαρμογής που περιγράφουν τα κίνητρα και το σκοπό χρήσης της.

2.3.1 Η γλώσσα OWL

Η OWL (Web Ontology Language-γλώσσα οντολογίας Ιστού), είναι μια σημασιολογική γλώσσα σήμανσης για την έκδοση και το διαμοιρασμό οντολογιών στον Ιστό. Αναπτύχθηκε ως μια επέκταση λεξιλογίου του RDF και προέρχεται από τη DAML+OIL. Άλλες γλώσσες οντολογίας είναι οι SHOE (Simple HTML Ontology Extensions), η XOL (Ontology Exchange Language – γλώσσα ανταλλαγής οντολογίας) και η UML (Unified Modeling Language – ενοποιημένη γλώσσα διαμόρφωσης). Χρησιμοποιείται και το σχήμα XML και το RDFS για τους ιδιαίτερους ρόλους τους στην ολοκλήρωση δεδομένων και το σημασιολογικό ιστό. Το σχήμα XML και το RDFS, χρησιμοποιούν την ίδια σύνταξη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση δεδομένων και την αντιπροσώπευση οντολογίας. Αλλά έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, με την έννοια ότι τα XML δεδομένα έχουν δομή εγγράφου (document structure) , ενώ τα RDF δεδομένα έχουν δομή περιοχής (domain structure) διαμορφωμένη από τις έννοιες και τις σχέσεις μεταξύ των εννοιών.

3. Μέθοδοι Αναγνώρισης και Παρακολούθησης της Ανθρώπινης Συμπεριφοράς

Οι μέθοδοι και οι τεχνικές για την αναγνώριση και την αναπαράσταση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές προσεγγίσεις. Η μια προσέγγιση βασίζεται στα δεδομένα και είναι data-driven τεχνική, ενώ η άλλη προσέγγιση βασίζεται στη γνώση και ονομάζεται knowledge-based προσέγγιση. Παραδοσιακές μέθοδοι για την αναγνώριση δραστηριότητας χρήστης, εστιάζουν στην επιστήμη της αναγνώρισης προτύπων (pattern recognition) και στα συστήματα μηχανικής μάθησης (machine learning). Αυτές οι τεχνικές έχουν μελετηθεί πολύ τα τελευταία χρόνια από τη σκοπιά της αναγνώρισης προτύπων, δεν έχουν όμως ενσωματώσει μηχανισμούς σημασιολογικής προσέγγισης. Ωστόσο, έχουν κάνει ένα βήμα μπροστά για τη σχεδίαση AmI συστημάτων και γι' αυτό στην επόμενη ενότητα που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνοπτικά. Παρακάτω, σε επόμενη ενότητα, θα περιγραφούν και οι τεχνικές που βασίζονται στη γνώση.

3.1 Data-driven μέθοδοι για Αναπαράσταση της Ανθρώπινης Συμπεριφοράς

Για να κατασκευαστεί το πιο αντιπροσωπευτικό μοντέλο της ανθρώπινης συμπεριφοράς, οι μέθοδοι αυτοί συλλέγουν τα δεδομένα και τις απαραίτητες πληροφορίες από αισθητήρες (sensors). Οι αισθητήρες μας δίνουν πληροφορία για την κατάσταση του χρήστη, τις θέσεις του και τις κινήσεις του. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους είναι πως υπάρχει ευκολία χρήσης, άορατοι, αλλά χάνεται η ιδιωτικότητα και εισάγεται κάποιος βαθμός πολυπλοκότητας στα συστήματα. Χρησιμοποιούνται κυρίως πιθανοτικά μοντέλα (probabilistic models), τεχνικές εξόρυξης δεδομένων (data mining) και τεχνικές επαγωγικής μάθησης (inductive learning).

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των πιθανοτικών μοντέλων, όπως για παράδειγμα τα Μαρκοβιανά μοντέλα (Hidden Markov Models, HMMs) [Bogert et.al.,2006, Meng et.al.2006, Zhang et.al.2006], παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα, όπως ευελιξία (flexibility), προσαρμοστικότητα (adaptability), ανοχή στο θόρυβο (noise tolerant) και ικανότητα μοντελοποίησης της πιθανότητας αποτυχίας των αισθητήρων. Ωστόσο, παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα, το first order assumption, μπορεί να έχουμε πολλαπλά μοντέλα για μια συμπεριφορά (μπορεί να εκτελεστεί με διαφορετικούς τρόπους) (behavior, MBHMM & conditional random fields, active tasks), είναι στατικά (static) και δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε δυναμικό περιβάλλον (dynamic environments).

Επίσης και οι τεχνικές εξόρυξης δεδομένων (data mining) [Rashidi and Cook 2009, Wilson et.al.2005], χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη πληροφοριών που θα βοηθήσουν στη δημιουργία του μοντέλου συμπεριφοράς (behavior mining).

Τέλος, μέσω της επαγωγικής μάθησης (Inductive learning) [Maurer et.al.2006, Delgado et.al.2009] και της διαδικασίας του mining (εξόρυξης), εντοπίζονται οι ενέργειες με την μεγαλύτερη συχνότητα και χρονική συσχέτιση, έπειτα δημιουργούνται δέντρα αποφάσεων (decision trees), στα οποία αναπαρίστανται οι τρόποι με τους οποίους μια δραστηριότητα (activity) μπορεί να αναπαρασταθεί. Πλεονεκτήματα Μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η δυνατότητα απλής αναπαράστασης, η γρήγορη ανίχνευση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, ενώ βασικό μειονέκτημα είναι το πρόβλημα όταν πρόκειται να μοντελοποιηθούν ενέργειες που επαναλαμβάνονται (cyclic actions).

Συμπερασματικά, τα HMM και γενικότερα τα στοχαστικά μοντέλα (stochastic models), είναι στατικά (static) και δεν εφαρμόζονται σε δυναμικό περιβάλλον (dynamic environment).

Μια πιθανή λύση θα μπορούσε να είναι η online προσαρμογή στις αλλαγές συνήθειας, εναλλαγές του περιβάλλοντος και ενσωμάτωση χρονικών πληροφοριών

Βασικό μειονέκτημα: δεν είναι εφαρμόσιμο σε δραστηριότητες (activities) με άγνωστο αριθμό κυκλικών εναλλαγών (cyclic execution times), η κλιμάκωση συστήματος (system scalability) και ο χειρισμός πολλών χρηστών (tackle multiple users-multiuser support).

Ενώ, τέλος, τα βασικά πλεονεκτήματα είναι η ανοχή θορύβου (handle noise), ο χειρισμός αβεβαιότητας (uncertainty), ο χειρισμός μη ολοκληρωμένων δεδομένων που προέρχονται από αισθητήρες (incomplete sensor data) και η ακρίβεια σε διαφορετικούς τομείς (accurate), εκεί που η σημασιολογία δεν είναι το κλειδί.

3.2 Knowledge-based μέθοδοι για την Αναπαράσταση της Ανθρώπινης Συμπεριφοράς

Όταν οι πληροφορίες περιβάλλοντος (context), αλλάζουν δυναμικά, είναι αναγκαίο να δημιουργούνται έυρωστα συστήματα που να μπορούν να προσαρμόζονται (adaptation) στις αλλαγές αυτές, και να συμβάλλουν έτσι στη διαλειτουργικότητα (interoperability) σε περιβάλλον διάχυτης υπολογιστικής (*dynamic pervasive computing environments*).

Οι Οντολογίες λοιπόν, χρησιμοποιούνται σε συστήματα τέτοια, γιατί προσδίδουν σημασιολογική αναπαράσταση της πληροφορίας και διευκολύνουν το διαμοιρασμό της πληροφορίας αυτής μεταξύ ετερογενών οντοτήτων (heterogeneous entities). Υπάρχουσες γλώσσες οντολογίας όπως η DAML+OIL, OWL 1, SWRL (Semantic Web Rule Language) παρουσιάζουν αδυναμίες (τελεστές: πρόβλημα εκφραστικότητας σε πολύπλοκα σενάρια, undecidability) γι' αυτό και χρησιμοποιούμε την OWL , η οποία χειρίζεται καλά αυτά τα προβλήματα.

Διάφορες knowledge-driven τεχνικές ως εργαλεία γνώσης πληροφοριών περιβάλλοντος που ενσωματώνουν τη σημασιολογία (context awareness tools to include semantics), διακρίνονται σε Logic based (event & situation calculus>agents>actions>changes), Ontological (upper and domain), Rule based (Fuzzy logic).

Οι Hybrid τεχνικές αποτελούν συνδυασμό των data-driven & knowledge based μεθόδων.

3.3 Αξιολόγηση μεθόδων

Παρακάτω, παρουσιάζονται δύο πίνακες (taxonomy for human activity recognition) που απεικονίζουν την μεθοδολογία που ακολουθούμε στις προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν παραπάνω, για τη μοντελοποίηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Παρουσιάζονται τα **κριτήρια αξιολόγησης** και η **ταξινόμησή** τους καθώς και οι **βασικές παράμετροι** (*key aspects*):

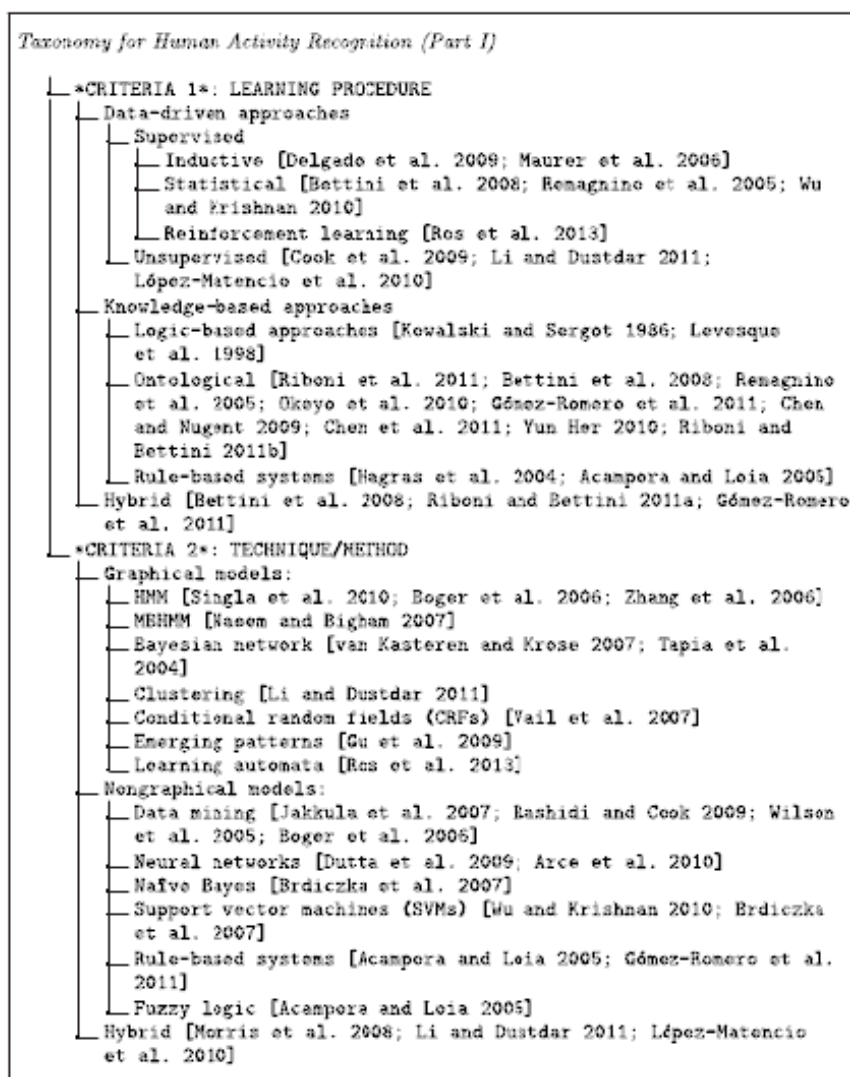


Fig. 3. Taxonomy for human activity recognition (Part I).

Taxonomy for Human Activity Recognition (Part II)

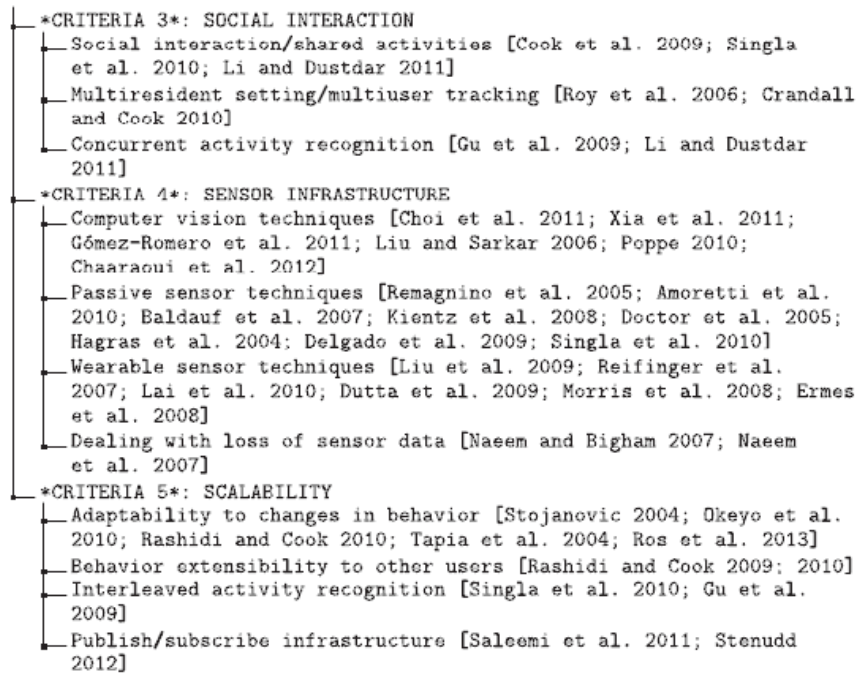


Fig. 4. Taxonomy for human activity recognition (Part II).

4. Οντολογίες για την Αναγνώριση της Ανθρώπινης Συμπεριφοράς

Υπάρχει μια ευρεία γκάμα οντολογιών και λεξιλογίων για τη μοντελοποίηση των πληροφοριών περιβάλλοντος (context). Οι χρήστες (users), αποτελούν το κεντρικό κομμάτι της σχεδίασης, καθώς και ό,τι συμβαίνει γύρω από αυτούς.

Η γλώσσα OWL 2 που χρησιμοποιείται, στηρίζεται στην ισχύ της Περιγραφικής Λογικής (Description Logics) και βασίζεται στο συντακτικό της που ορίζει:

- έννοιες, σχέσεις, άτομα
- Τελεστές (συμπλήρωμα, τομή, ένωση, ισοδυναμία, υπόθεση κ.α.)
- Αξιώματα

Σημασιολογία:

- Ορισμός κόσμου (σύνολο αντικειμένων)
- Ερμηνεία τελεστών και αξιωμάτων
- Έλεγχος γνώσης (εξαγωγή συμπεράσματος)

Τα «δυνατά» χαρακτηριστικά της γλώσσας αυτής είναι:

- Αναπαράσταση (representation)
- Συλλογιστική (reasoning)
- Εξόρυξη υπονοούμενης γνώσης που δεν αναπαρίσταται ρητά στην υπάρχουσα (implicit information from explicit context data)

Η συλλογιστική (ontology-based reasoning) υποστηρίζει tasks όπως:

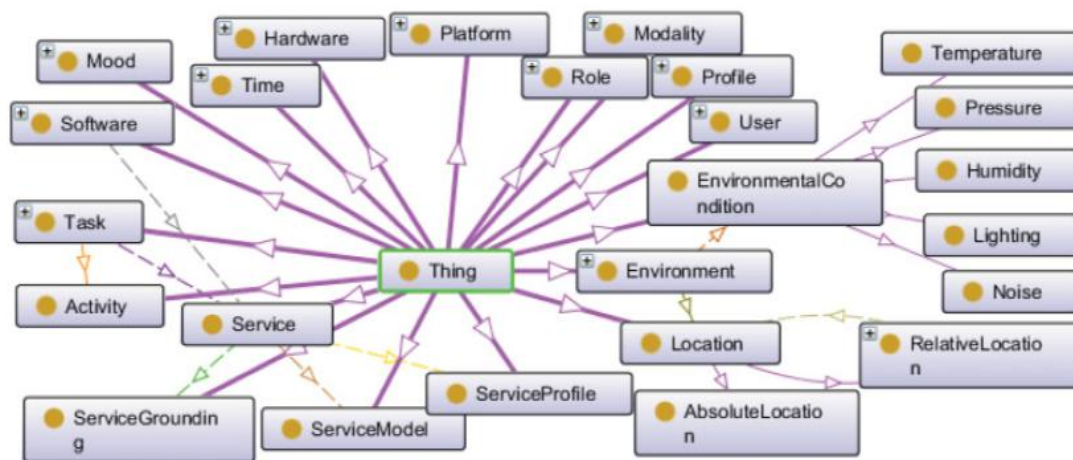
- Υπαγωγή (subsumption)
- Ικανοποιησιμότητα (satisfiability)
- Ισοδυναμία (equivalence)
- Ανομοιότητα (disjointness of classes)
- Συνέπεια (consistency)
- Ταξινόμηση (classification)
- Ανάκτηση στιγμιότυπου (instance retrieval)
- Realization
- Incremental progressive activity recognition and assistance
- Σημασιολογικές περιγραφές (διαχωρισμός σημαντικότητας και επειγουσών καταστάσεων)

4.1 CoBrA-Ont

Αποτελεί επέκταση της SOUPA, βασικές κλάσεις της: people, places, activities, action, agent, time (instant and interval), space, device.

4.2 The CoDAMoS Ontology

Βασικές οντότητες (core entities): user, environment, platform, service. Για να παρέχει application adaptation, automatic code generation, code mobility and generation of device-specific user interfaces.



Ontology concepts within the CoDAMoS ontology [Preuveneers et al. 2004].

4.3 The Delivery Context Ontology

Παρέχει ένα τυπικό μοντέλο (formal model) για τα χαρακτηριστικά περιβάλλοντος, όπου διαφορετικές συσκευές αλληλεπιδρούν με συγκεκριμένες υπηρεσίες. Η Οντολογία αυτή περιλαμβάνει: device characteristics, software used to access the service, the network, environment, hardware (battery, memory), tactile input, text input types, cameras, aspect ratio, software, character set, bluetooth profiles, locations, unit conversions, physical quantities.

4.4 The SOUPA Ontology

Η SOUPA (Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications) [Chen et.al.2003], είναι ένα σύνολο οντολογιών για την υποστήριξη της αναπαράστασης γνώσης, αλλά και το διαμοιρασμό της στα συστήματα διάχυτου υπολογισμού. Το πρόγραμμα SOUPA, χρησιμοποιεί τη γλώσσα OWL και περιλαμβάνει λεξιλόγια για την αναπαράσταση ευφυών πρακτόρων που συνδέονται με πεποιθήσεις, επιθυμίες και προθέσεις, χρόνο, χώρο, γεγονότα, προφίλ χρηστών, ενέργειες και πολιτικές για ασφάλεια και ιδιωτικότητα. Αποτελείται από δύο διαφορετικά αλλά σχετιζόμενα μοντέλα οντολογιών: SOUPA Core και SOUPA Extension. Το πρώτο σύνολο προσπαθεί να ορίσει γενικά λεξιλόγια τα οποία είναι καθολικά για το χτίσιμο εφαρμογών διάχυτου υπολογισμού, ενώ το δεύτερο το οποίο αποτελεί επέκταση του πρώτου, ορίζει επιπρόσθετα λεξιλόγια για την υποστήριξη συγκεκριμένων τύπων εφαρμογών. Συγκεκριμένα το σύνολο Core αποτελείται από τις εξής οντολογίες: 1) person, 2) agent, 3) action, 4) policy, 5) time, 6) space, 7) event. Οι Οντολογίες της SOUPA Extension ορίζονται με δύο σκοπούς: α) τον ορισμό ενός επεκτεταμένου συνόλου λεξιλογίων για την υποστήριξη συγκεκριμένων τύπων εφαρμογών πεδίου διάχυτου υπολογισμού και β) για να δείξουν πως ορίζονται νέες οντολογίες επεκτείνοντας τις οντολογίες του πυρήνα της SOUPA. Η προέκταση της SOUPA αποτελείται από κάποιες οντολογίες για την υποστήριξη της επίγνωσης πλαισίου (context awareness) σε έξυπνο περιβάλλον: priority, conditional & unconditional belief, contact preference, meeting & schedule.

4.5 The mIO! Ontology

Είναι μια network ontology που αναπτύχθηκε με τη βοήθεια της NeOn μεθοδολογίας για : user context, configure, discover, execute services. Έντεκα οντολογίες περιγράφουν την mIO! Core: user, role, environment, location, time, service, provider, device, interface, source, network.

4.6 The human activity recognition ontology

Μοντελοποιεί ατομικές και κοινωνικές δραστηριότητες. Ο τύπος των στοιχείων που μοντελοποιούνται είναι: acknowledgement, activity granularity, postures, indoor – outdoor entities, time granularity.

4.7 The CONON Ontology

Ορίζει γενικά στοιχεία σε μια upper ontology: location, activity, person, computational entity, domain-specific concepts, activities, status of indoor spaces entities, user-defined reasoning.

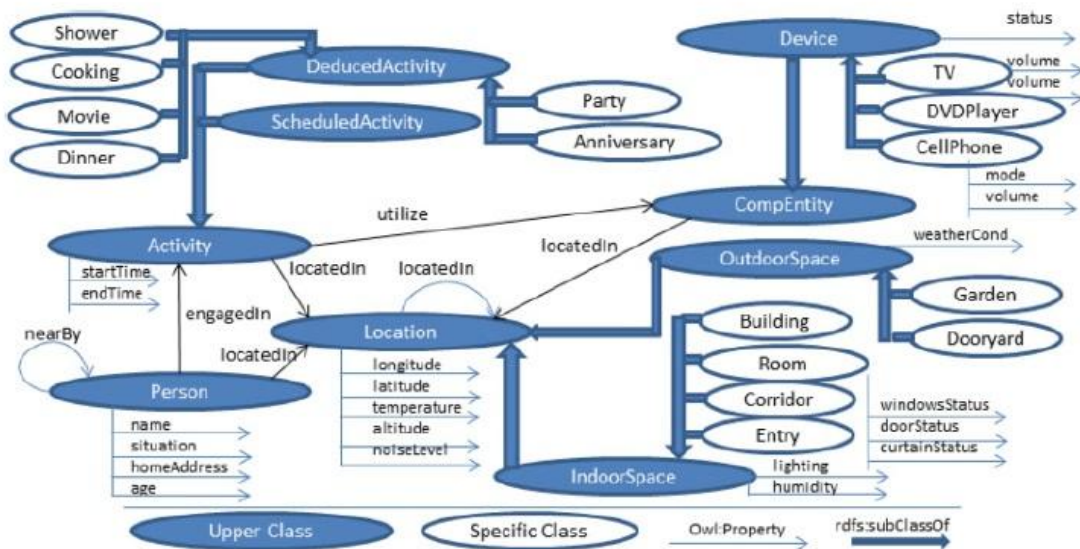


Fig. 1. OWL-encoded context ontology (CONON) [Wang et al. 2004] (partial).

4.8 The Pervasive Information Visualization Ontology (PiVOn)

Αποτελείται από τέσσερις ανεξάρτητες οντολογίες (users, environment, devices, services). Μερικές ιδιότητες από τα βασικά στοιχεία στην user ontology είναι: location, identity, activity, time. Τα events έχουν: reminders, schedule, part of a user agenda.

4.9 The Situation Ontology

Χωρίζεται σε situation και context layers. Situation: σύνολο από context που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του συστήματος. Το context αποτελεί πληροφορία για το σύστημα, τους χρήστες, πχ. τοποθεσία, εύρος ζώνης. Η οντολογία αυτή υποθέτει atomic και composite καταστάσεις.

4.10 Οντολογίες για αναπαράσταση πλαισίου (context) και περιβάλλοντος (environment)

Υπάρχουν και οντολογίες που εστιάζουν εκτός από το χρήστη, στις πληροφορίες πλαισίου και στο περιβάλλον.

5. Αξιολόγηση-Συγκριτικοί Πίνακες

Στην Ενότητα αυτή και εφόσον έχουν παρουσιαστεί παραπάνω κάποιες βασικές οντολογίες, για την αναπαράσταση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, θα παρουσιάσουμε μια αξιολόγηση όλων των παραμέτρων σχεδιασμού για την επιλογή και την ανάπτυξη νέων εργαλείων που θα βελτιώσουν τη δημιουργία αυτών των μοντέλων. Υπάρχουν πολλά σενάρια που υλοποιούνται σε περιβάλλον που παρουσιάζει ετερογένεια, έτσι η έλλειψη ποικιλίας στα συστήματα αυτά, καθιστά δύσκολη τη χρήση εργαλείων αξιολόγησης.

Αν ανατρέξουμε στη βιβλιογραφία, θα διαπιστώσουμε πως υπάρχουν κάποια πλαίσια αξιολόγησης για upper οντολογίες, που βασίζονται στην κατάσταση (situation) και στην επίγνωση πλαισίου (context awareness) [Baumgartner and Retschitzegger 2006]. Στην εργασία αυτή αναλύονται τέσσερις οντολογίες: SAW (Situation awareness ontology) [Matheous et al.2005], situation ontology [Yau and Liu 2006], SOUPA [Chen et al. 2005], CONON [Wang et al.2004]. Το πλαίσιο αξιολόγησης βασίζεται στα top-level θέματα, SAW concepts και χαρακτηριστικά μοντελοποίησης των upper οντολογιών, όπως universality και articulation. Τα top-level concepts που αξιολογήθηκαν είναι: object, attribute, relation, role, event, situation, ενώ τα SAW-specific concepts βάσει των space, time, thematic roles, situation types, situations as objects. Αν και καμία από αυτές τις οντολογίες δεν ικανοποιεί όλα ή τουλάχιστον τα περισσότερα από τα συνολικά κριτήρια, επιβεβαιώνουμε ότι το SAWA ικανοποιεί τη μοντελοποίηση των περισσότερων concept, και ακολουθούν οι οντολογίες: situation ontology, SOUPA και CONON. Εκτός από το είδος των εφαρμογών (applications), τον τομέα (domain) και την καθολικότητα (universality), άλλα εργαλεία που αξιολογούν άλλες οντολογίες, εστιάζουν στην άδεια χρήσης –ελεύθερα ή μη (licensing), ωριμότητα βάσει αποδεικτικού στοιχείου χρήσης (maturity), δομή (structure, modularity, design), διακριτότητα χρόνου και χώρου (granularity), ασάφεια (vagueness) και ασφάλεια (security) ή διαθεσιμότητα (availablity), ύπαρξη εργαλείων διαχείρισης (management tools), εκφραστικότητα (expressiveness) κ.ο.κ.

Κάποια άλλα κριτήρια αξιολόγησης που παρουσιάζονται στο [Abdualrazak et al. 2010], βασίζονται στην Αρχιτεκτονική (Architecture), στο σκοπό της εφαρμογής (Application Purpose), στην Αυτονομία (Autonomy), στην Ενσωμάτωση (Integration), στην Ευφυΐα (Intelligence), και στη Διαθεσιμότητα Υπηρεσιών (Service

Availability). Η υποδομή καθορίζει την αρχιτεκτονική και το σχεδιασμό. Ο σκοπός της εφαρμογής περιγράφει μεταξύ άλλων το context, την αξιοπιστία του, την ανοχή σε σφάλματα, την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα, και την αποτελεσματικότητα. Η αυτονομία μεταφράζεται στο πως ένα περιβάλλον διάχυτης υπολογιστικής ξεκινά-αρχικοποιείται, πως εξελίσσεται και πως διαχειρίζεται αυτόματα αποτυχία σε σχέση με τους χρήστες, πως ενσωματώνει νέους πόρους και πως αντικρούει επιθέσεις. Το κριτήριο της αλληλεπίδρασης από την άλλη, αναγνωρίζει τις από άνθρωπο σε μηχανή και από μηχανή σε μηχανή δυνατότητες παρουσίασης. Τα κριτήρια ευφύιας μετρούν το κατά πόσο είναι ενεργό σε περιβάλλον περιρρέουσας νοημοσύνης, καθώς επίσης και την ποιότητα του πλαισίου και την προσαρμοσιμότητα σε αλλαγές. Τέλος, η διαθεσιμότητα υπηρεσιών, κατηγοριοποιεί την πανταχού παρούσα υπηρεσία που βασίζεται στο οπουδήποτε, οποτεδήποτε (anywhere, anytime) (πχ. discovery, deployment, mobility etc).

Μέχρι τώρα, είδαμε κάποια κριτήρια αξιολόγησης οντολογιών βάσει του τομέα που περιγράφουν. Παρακάτω παρατίθενται δύο πίνακες με τη συγκριτική αξιολόγηση συγκεκριμένων οντολογιών βάσει τομέων που περιγράφουν.

Table I. Subdomains Addressed by Available Context Ontologies (Ontology Set I)

Ontology/ Subdomain	CC/PP [Klyne et al. 2004]	CoBrA-Ont [Chen et al. 2003]	CoDAMoS [Preuveneers et al. 2004]	Delivery Context [Cantera- Fonseca and Lewis 2009]	SOUPA [Chen et al. 2005]
Device	X	X	X	X	
Environment		X	X	X	
Interface				XX (I. Restrictions)	
Location		XXX	X	X	X
Network	X			XX	
Provider					
Role		X	X		
Service			X	X	
Context Source					
Time		X	X		XX
User	X	X	X		X
Imprecision/ Uncertainty Management					
Message					
Behavior Granularity		Action	X (Task, Activity)		
Behavior Model					
Social Interaction					
Implementation Available	X	X	X		X
Other Specific Domains Modeled	Capabilities, profiles	Privacy policy, agents, compound places, Easy- Meeting (eBiquity Group Meeting Ontology)	Platform (Hardware, OS), hardware resources and software types, service (profile, model, and grounding)	Hardware and software (APIs, Bluetooth), physical quantities, unit conversions	Policy (also in privacy), Easy Meeting

Table II. Subdomains Addressed by Available Context Ontologies (Ontology Set II)

Ontology/ Subdomain	mIO! [Villalon et al. 2010]	PalSPOT [Riboni et al. 2011]	CONON [Wang et al. 2004]	PiVOn [Hervás et al. 2010]	Situation Ontology [Yau and Liu 2006]
Device	X	X	X	XX	X
Environment	X	X	X	X	X
Interface	X				
Location	X	X	X	XX	X
Network	X		X		
Provider	X			X (device service provider)	
Role	X			X	
Service	X		X	XX	
Context Source	X	X		X (in device taxonomy)	X (context value domain)
Time	X	X	X	X	XX
User	X	X	X	X	X
Imprecision/ Uncertainty Management					
Message				X (schedule reminder)	
Behavior Granularity		X	X	X subtasks	X (Boolean & data context operator, atomic/ composite situation)
Behavior Model					
Social Interaction		X		X (companion)	
Implementa- tion Available	X	X			
Other Specific Domains Modeled	Games (Paddle) as service	Indoor/outdoor communica- tion routes, vehicles, traveling, device/ artifact usage, Snapshot ontology for ADLs	Home & office domain, scheduled/ deduced activities, furniture status	Spaces, visualiza- tion services, agenda, schedule, reminder, task progress	Context value domain, time period & operators, Boolean context operator, atomic/ composite situation, academic conference

Παρακάτω στο σχήμα, απεικονίζεται η συνολική ταξινόμηση και αξιολόγηση των οντολογιών που παρουσιάστηκαν:

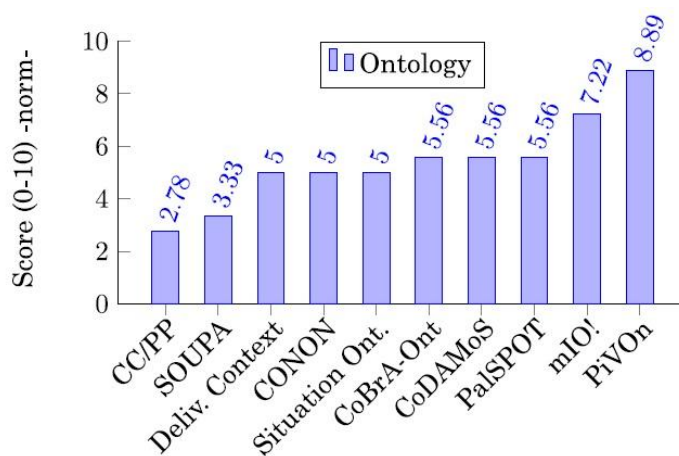


Fig. 5. Overall ranking for the most representative human activity ontologies for the proposed evaluation criteria.

Οι οντολογίες μπορούν επίσης να αξιολογηθούν και βάσει των pitfalls (δηλ. τον αριθμό των χαρακτηριστικών που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν προβλήματα στο συλλογισμό που ακολουθείται στις οντολογίες). Ο παρακάτω πίνακας (structural evaluation), δείχνει τις οντολογίες, το μέγεθός τους σε triples, και ένα σύνολο προτεινόμενων pitfall για διόρθωση σύμφωνα με το OOPS! (Ontology Pitfall Scanner).

Table III. Ontology Pitfall Evaluation

<i>Ontology</i>	<i>#Triples</i>	<i>#Classes</i>	<i>Pitfalls</i>	<i>Pitfall Rate</i>
CoDAMoS	1291	106	143 <i>P8</i> — <i>P10</i> — 4 <i>P11</i> — 33 <i>P13</i> — <i>P22</i>	0.141
CoBrA	4144	88	5 <i>P4</i> — 186 <i>P8</i> — 22 <i>P11</i> — 3 <i>P12</i> — 67 <i>P13</i> — <i>P22</i> — 4 <i>P24</i> — 5 <i>Suggestions</i>	0.071
PalSPOT locont-2.0	5302	199	<i>P4</i> — <i>P5</i> — 251 <i>P8</i> — <i>P11</i> — 22 <i>P13</i> — 2 <i>P19</i> — <i>P22</i> — 10 <i>Suggestions</i>	0.055
SOUPA_policy	1304	30	12 <i>P8</i> — 3 <i>P11</i> — 7 <i>P13</i> — 1 <i>Warning</i>	0.025
Delivery-ContextAll	22573	134	<i>P4</i> — 37 <i>P11</i> — 97 <i>P13</i> — <i>P22</i> — <i>P24</i> — 4 <i>Sugg</i>	0.006
CCPPschema-20030226	19	134	Free of bad practice detectable by OOPS! Pitfall Scanner	0

Pitfalls:

Unconnected ontology elements (*P4*)

Missing annotations (*P8*)

Missing domain or range properties (*P11*)

Different naming criteria (*P22*)

Recursive definitions (*P24*)

$$\frac{\sum_{i=1}^n \#P_i}{\#T}$$

Και

Όπου $\#P_i$: number of pitfalls, $\#T$: ontology size (triples)

6. Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία

Για την ανάπτυξη και τον σχεδιασμό βέλτιστων οντολογιών, ο συνδυασμός τους με μεθόδους μηχανικής μάθησης, οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα (*integration of data-driven and knowledge based methodologies*).

Η μοντελοποίηση πληροφοριών με ανακρίβεια (*imprecise*) και αβεβαιότητα (*uncertain*), που χαρακτηρίζουν την ανθρώπινη συμπεριφορά, αποτελούν μια ερευνητική πρόκληση.

Ως μελλοντική κατεύθυνση θα λέγαμε πως είναι: α) πρόβλεψη για **αλλαγές** στη συχνότητα της συμπεριφοράς ή στην αλλαγή περιβάλλοντος, β) όταν ένα μοντέλο συμπεριφοράς περιγράφει **άλλο χρήστη** και όχι αυτόν για τον οποίο σχεδιάστηκε >**scalability, applicability & adaptability**.

7. Βιβλιογραφία

1. Natalia Diaz Rodriguez, M.P. Cuellar, Johan Lilius, Miguel Delgado Calvo-Flores , *A Survey on Ontologies for Human Behavior Recognition*, ACM Computing Surveys, Vol.46, No.4, Article 43, March 2014
2. Asma Gharsellaoui, Yacine Bellik, Christophe Jacquet, *Requirements of Task Modeling in Ambient Intelligent Environment*
3. Natalya F. Noy, Deborah L. McGuinness, *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*